

# 모델수차 성능시험에서의 유동 안정화를 통한 불확도 저감

심 동 혁 과장 / K-water 연구원 물에너지연구소  
shim@kwater.or.kr

## 1. 머리말

현재 수력사업은 정부의 신재생에너지 보급 확대 정책으로 공공기관이 주도적으로 개발하여 양적으로 증가되는 추세를 가지고 있다. 특히, 수차발전설비의 효율을 좌우하는 중요부분은 수차와 발전기로 구분할 수가 있다. 수차의 성능평가에 대해서는 국제규격 IEC 60193(Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines - Model acceptance tests)을 만족하는 모델시험을 통하여 수행되고 있으며, 성능평가 설비의 최적화에 따라 불확도가 결정된다. 해외 선진 기관의 경우 불확도는 0.25% 수준이며, 국내의 유일한 모델수차 성능시험 설비를 보유하고 있는 K-water는 0.39% 불확도를 제시하고 있는 수준이다. 그중 시험설비의 불확도에 가장 큰 영향을 주는 인자는 유량 측정이며, 본 내용에서는 수차시험설비에서의 정밀한 유량 측정을 위한 유동 안정성을 향상시키기 위한 방안에 대해서 소개하였다.

## 2. K-water 수차시험설비

### (1) 개요

모델수차의 성능시험을 수행하기 위하여 그림 1과 같은 기본적인 설비회로가 필요하다. K-water에서는 그림 1의 기본 회로를 바탕으로 그림 2와 같은 설비를 구축하였으며, 주요 구성은 유량을 제어하기 위한 펌프실, 유량 측정을 위한 유량계, 프란시스 수차의 성능시험을 위한 수차와 압력변동을 최소화하기 위한 수차의 상하부 탱크, 모델수차의 시험을 위한 제어실, 펌프 및 각종 기기의 전력을 공급하는 전력설비 등으로 구성된다. 펌프실에는 두 대의 인버터 펌프가 설치되어 있고, 직렬 및 병렬 조합이 가능하도록 구성하여 다양한 유량과 낙차 조건을 형성할 수 있도록 구성하였다. 본 Test rig의 시험 가능 범위는 최대 100MW급 실물 수차발전기의 모델수차 성능시험이 가능하도록 구성하였으며, 최대 낙차 및 유량은 각각 40m, 1.0m<sup>3</sup>/s이다. 그리고 동력계 용량 및 Load 적용 시 최대 측정 가능한 회전수는 각각 400kW, 2,500rpm이다.

## 모델수차 성능시험에서의 유동 안정화를 통한 불확도 저감

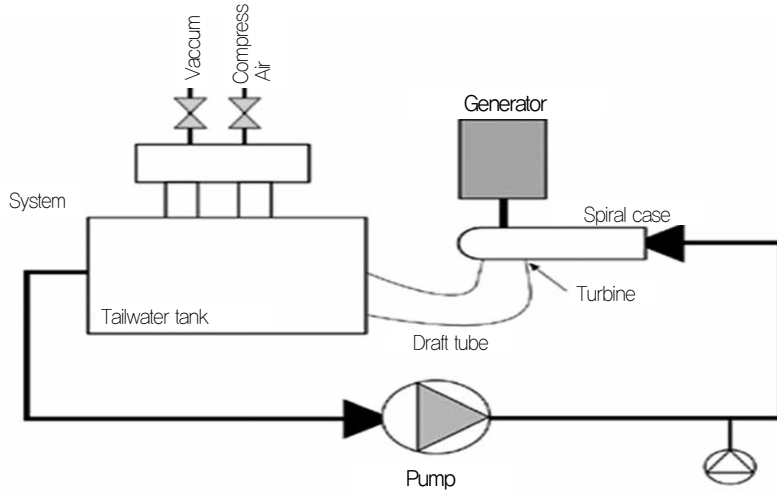


그림 1. 일반적인 성능시험설비 구성도

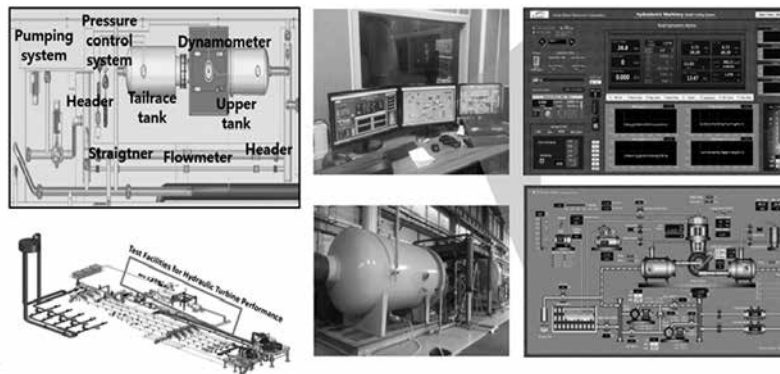


그림 2. K-water 성능시험설비 개요도

### (2) 불확도 산출

시험 결과의 정밀도를 높이고, 불확실성을 판단하기 위하여 설비에 대한 불확도를 산정하게 되어 있다. 성능 시험 중 가장 중요한 효율시험 결과의 정확도를 판단하기 위하여 불확도를 산출하게 되어 있으며, 세계 최고 수준은 0.2%로 알려져 있다.

#### ① 수차의 효율

수차의 효율은 입력되는 수력학적 에너지를 대비하여 출력되는 기계적인 에너지로 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$\eta = \frac{P \times 10^3}{\rho g Q H} \dots (1)$$

$\eta$  : 시험 상태에서의 수차 효율(%)

$P$  : 시험 상태에서의 수차 출력(kW)

$Q$  : 시험 상태에서의 유량(m<sup>3</sup>/s)

$H$  : 시험 상태에서의 유효낙차(m)

$\rho$  : 시험 상태에서의 물의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : 시험 상태에서의 중력 가속도(m/s<sup>2</sup>)

불확도의 요인은 우연오차에 의한 우연불확도(Random

## 유량 측정의 불확실성 해소와 제어

uncertainty)와 계통오차에 의한 계통불확도(Systematic uncertainty)로 나누어지고, 두 불확도의 종합으로 총 불확도(Total uncertainty)를 산정하며, 이는 IEC 60193 국제규격에 의하여 산정하게 된다. 우연불확도는 시험 시 예측할 수 없는 원인에 의해 발생하는 것을 의미하며, 동일 조건에 대한 반복적인 시험을 통해 산정하게 된다. 계통불확도는 시험 시 활용되는 다양한 계측기에 의해 발생하는 불확도를 의미한다.

### ② 불확도 평가

계통불확도( $f_s$ )에 대한 일반적인 불확도 산출식은 아래와 같다.

$$f_s = \sqrt{(f_Q)_s^2 + (f_E)_s^2 + (f_T)_s^2 + (f_n)_s^2 \dots} \quad (2)$$

( $f_Q$ )<sub>s</sub> : 유량측정에 대한 불확도 (%)

( $f_E$ )<sub>s</sub> : 비에너지에 대한 불확도 (%)

( $f_T$ )<sub>s</sub> : 축 토크에 대한 불확도 (%)

( $f_n$ )<sub>s</sub> : 회전속도에 대한 불확도 (%)

상기의 식에서 나타난 것과 같이 시스템 불확도의 주요 내용 중 유량 측정 불확도가 중요한 인자로 작용하고 있으며, 성능시험설비에서 정확한 유량 측정을 위한 유동 안정화가 중요하다는 사실을 알 수 있다. 그림 3은

K-water가 보유하고 있는 설비의 유량 측정 데이터를 보여준다.

### ③ 유동안정화 향상을 위한 부속 기기

해의 선진기관의 Test rig의 불확도는 0.25%로 국내 설비 0.39%에 비해 상당히 안정되어 있는 것을 알 수 있으며, 국내 설비와의 차이점을 확인한 결과, 시험설비 배관 내부에 유동 안정을 위한 Guide plate와 Straightener가 설치되어 있는 것을 확인하였다. 그림 4는 선진기관 및 보유 설비 Inflow 배관 형상을 비교한 것이며, 상부 탱크는 동일한 형상을 갖는 것으로 가정하여 CFD 조건을 설정하였다.

### ④ 전산 유동 해석을 통한 유동 안정화 검증

전산 유동 해석을 적용하기 위하여 경계조건 설정이 필요하며, 유입 조건으로는 유량 0.5m<sup>3</sup>/s, 유출 조건으로는 압력 조건을 적용하였으며, 난류모델은 모델을 적용하였다. 또한, 배관 내부에 설치되는 부가 설치에 대한 손실을 계산하였으며, 최종적으로 선진 기관 test rig의 모델수차 입구 영역 부분의 속도 분포를 비교하였다. 그림 5와 같이 배관 내 Guide plate와 Straightener를 설치한 경우 약 2.6m의 헤드로스가 발생하나, 그림 6에서 나

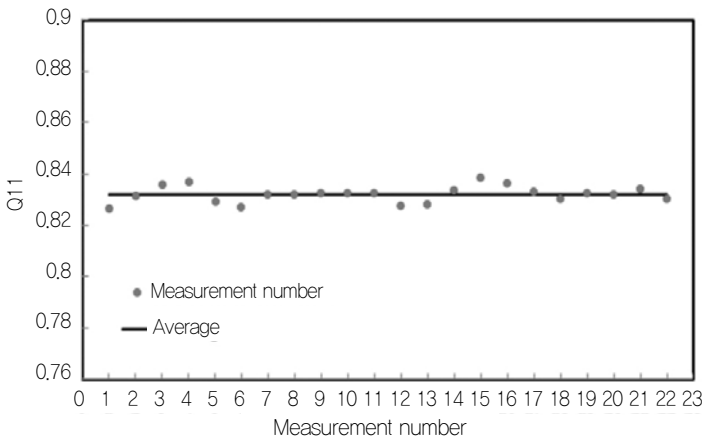


그림 3. 유량측정 데이터

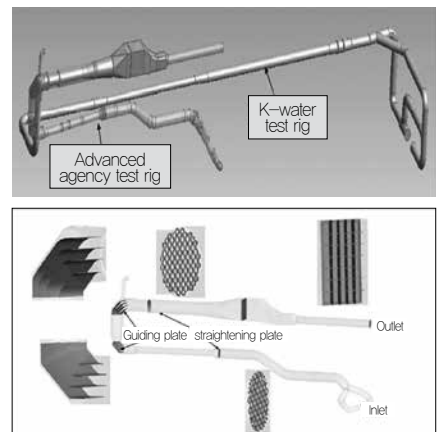


그림 4. 배관 형상 비교 및 유동안정장치 반영

## 모델수차 성능시험에서의 유동 안정화를 통한 불확도 저감

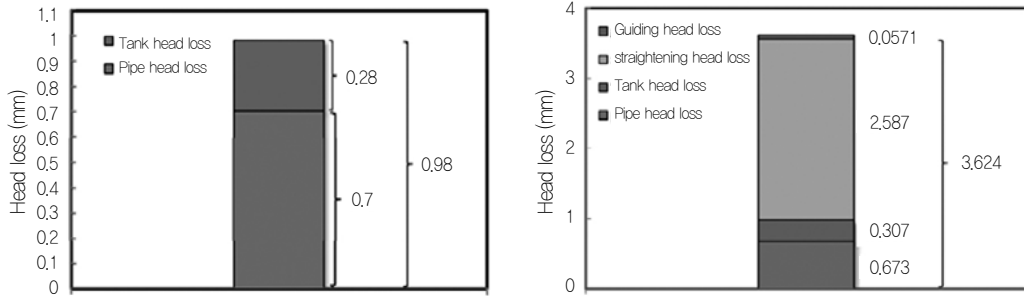


그림 5. Test rig 내의 압력 손실

타난 것과 같이 유동 안정성은 향상되었다. 모델수차 유입 부분의 유속 분포는 선진 기관과 유사한 분포 특성이 나타났다.

water에서는 보유하고 있는 수차시험설비의 유로에 대한 유동안정화 기술의 지속적인 개발과 연구를 통하여, 선진 기관 수준 이상으로 불확도를 확보하여 국내 수력기자재산업 발전에 이바지하고자 한다.

### 3. 맺음말

수력발전시장이 확대되고는 있으나, 성능시험 및 인증과 관련된 국가적인 기관의 부재로 성능평가를 통한 설비 현대화 기술은 외국 제작사에 의존하고 있다. K-

#### [참고 문헌]

1. International Electrotechnical Commission, 1999, "Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines model acceptance tests", International standard IEC 60193 second edition.
2. 차상훈, 최종웅, 고성호, 2005, "실물 프랑스식 수차 개발을 위한 모델 수차의 성능예측", 한국유체기계학회 논문집, 제20권 제4호, pp.05-11.
3. 서상호, 2014년, 수차의 이론과 실체, 동명사

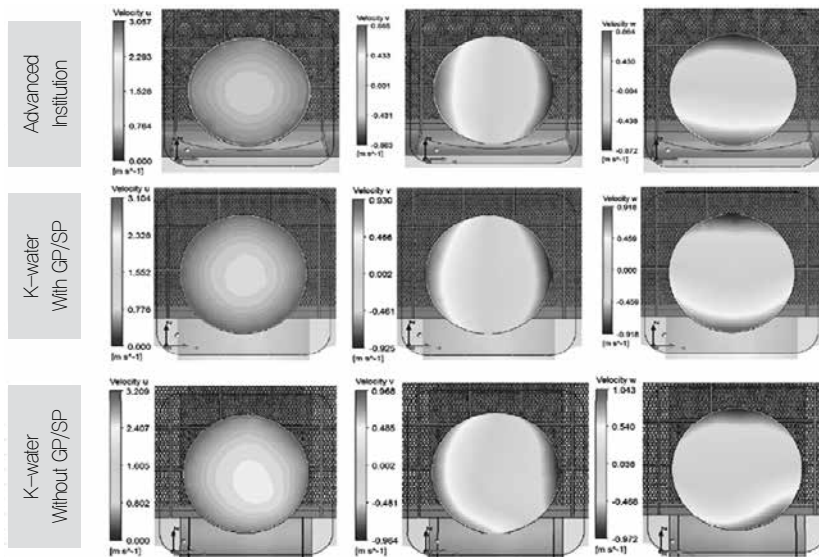


그림 6. 각 지점별 유속분포도 비교